



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTIMATIVA DE POTENCIAL HIDROcinÉTICO DA ENERGIA HÍDRICA RESIDUAL E VERTIDA DO RESERVATÓRIO DA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ-PA: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL E NUMÉRICA-3D

Luis Aramis dos Reis Pinheiro, aramisrp@gmail.com¹

Alan Cavalcanti da Cunha, alancunha@unifap.br²

Antonio Cesar Pinho Brasil, brasiljr@unb.br¹

¹Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900. Brasília, Distrito Federal, Brasil

²Universidade Federal do Amapá, Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 02, Jardim Marco Zero, 68.903-419 Macapá, Amapá, Brasil

Resumo: Em busca de soluções energéticas para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental na Amazônia, as microcentrais elétricas descentralizadas são uma alternativa à extensão de rede, sendo fontes renováveis e menos poluentes. Neste sentido, há o interesse no aproveitamento de potenciais hidrocinéticos de baixa queda e da energia disponível em correntes aquáticas em mares, lagos e rios. Desta forma, a avaliação do potencial hidrocinético em canais naturais é o requisito fundamental para a quantificação da intensidade da corrente (velocidade ou vazão) local de interesse, a qual também pode ser comparada ou estimada por intermédio de simulações numéricas computacionais. Esta investigação apresenta o desenvolvimento de um do modelo 3D a jusante do vertedouro da Unidade Hidrelétrica de Tucuruí (UHE-Tucuruí) no Rio Tocantins-PA. As seguintes etapas metodológicas foram executadas: a) elaboração de uma malha computacional e b) modelagem e simulação numérica do escoamento em uma seção de monitoramento hidrodinâmico. Foi utilizado o software CFD Ansys CFX para simular a hidrodinâmica do fluxo turbulento e o modelo turbulento SST (do inglês, Shear Stress Transport) para o estudo do fluxo do rio. Os resultados da simulação foram comparados com dados experimentais de vazão in situ para avaliar a concordância entre ambas as quantificações durante três períodos sazonais: seco, transição e chuvoso. Os maiores picos de velocidade ocorrem nas maiores profundidades da seção, sugerindo que o “melhor” posicionamento de turbinas hidrocinéticas nestas seções mais profundas (15 a 25 m). As medidas experimentais e simulações numéricas confirmam a hipótese de que o este trecho seria a melhor decisão para posicionar uma turbina hidrocinética a ser implantada na região. Neste quesito, o modelo mostrou boa representatividade geométrica das irregularidades do fundo do canal. Contudo, a intensidade das correntes, nas zonas mais profundas do escoamento, não apresentaram variação significativa. Conclui-se que, tanto as previsões experimentais quanto numéricas sugerem que as intensidades das velocidades viabilizam potencialmente a instalação de máquinas hidrocinéticas. Além disso, os perfis de velocidade obtidas em medidas de perfilamento correntométrico, permitirá a imposição de condições de contorno, as quais poderão ser realizados a partir de ensaios numéricos visando os melhores potenciais hidrocinéticos observados bem como possibilitar uma melhor avaliação da influência geométrica do leito de canais a jusante de barragens.

Palavras-chave: Barragens, Energia Residual, Turbulência, CFX, Simulação, Hidrodinâmica

1. INTRODUÇÃO

O acesso à eletricidade é uma das soluções para o desenvolvimento humano, proporcionando iluminação, aquecimento e força motriz para usos produtivos e bem-estar social, especialmente para as áreas rurais. Para auxiliar na solução desse problema, especialmente na Amazônia, as microcentrais ou picocentrais elétricas descentralizadas se constituem em interessante alternativa econômica à extensão de rede, sendo consideradas fontes renováveis e menos poluentes.

No contexto da conversão de energia através da hidroeletricidade um atual interesse repousa no aproveitamento de potenciais de baixa queda, ou ainda no aproveitamento da energia disponível em correntes aquáticas (em rios ou oceanos). Este tipo de potencial é conhecido como hidrocinético, que é definido com a energia contida no movimento horizontal de massa de água em uma seção de medida. A energia hidrocinética é uma modalidade de considerada renovável e de baixo impacto ambiental, tornando-se interessante para atender de comunidades isoladas, como na Amazônia. Alguns autores

têm estudado potenciais hidrocínéticos na região (Brasil Jr *et al.*, 2006; Els, 2008; Rodrigues, 2007).

A física básica de funcionamento de uma turbina sob efeito de correntes de marés seria similar a uma turbina eólica, sendo que a potência disponível é proporcional à densidade da água, vezes a área de varredura do rotor (hélice da turbina ou diâmetro ao quadrado), vezes o cubo da velocidade da água. Boyle (2004) observou que as velocidades típicas de correntes marítimas (não estuarinas, mas de alto mar) podem ser superiores a 3 m/s (três metros por segundo), comparado com 7 m/s da eólica, em nível global. Neste aspecto, verifica-se que a intensidade da velocidade é a variável mais sensível para a geração de energia elétrica.

Com base nessa necessidade de geração de energia por meios alternativos em comunidades isoladas, impõe-se o seguinte questionamento: como utilizar o levantamento do potencial hidrocínético, a jusante de reservatórios de barragens e a partir do conhecimento geométrico de fundo desses canais, para otimizar ganhos de eficiência hidrocínética através do uso da experimentação hidrodinâmica e da dinâmica dos fluidos computacional? Segundo Ponta and Jacoviski (2008) as características estimadas das condições de corrente a jusante da barragem proporcionam velocidades da ordem de 2 a 3,5 m/s, suficiente para viabilizar a instalação de máquinas hidrocínéticas nestas condições. Estas hipóteses são consideradas em vista de relatos apresentados na literatura recente, principalmente em experimentos com máquinas em correntes oceânicas ou de marés.

Alguns estudos utilizando ferramentas de modelagem e simulação numérica da mecânica dos fluidos computacionais (CFD) na Amazônia têm mostrado resultados interessantes sobre este potencial, tanto em estudos qualitativo quanto quantitativos do escoamento em rios e canais. Deste modo, o uso dessas ferramentas mostrou-se robusto em descrever as características básicas do escoamento em rios e reservatórios de hidrelétricas (Cunha *et al.*, 2010; Cunha *et al.*, 2012; Pinheiro and Cunha, 2010; Pinheiro *et al.*, 2008).

No intuito de desenvolver uma máquina (turbina hidrocínética), o aperfeiçoamento do projeto hidrodinâmico com uso intensivo de modelagem e simulação computacional e ensaios em laboratório são essenciais. Neste Trabalho, foi desenvolvido o modelo 3D do trecho rio a jusante da UHE Tucuruí no rio Tocantins, estado do Pará. Para tanto, foi necessário elaborar uma malha computacional que representasse o domínio real da seção de estudo. Com efeito, foi desenvolvido o escoamento por meio da modelagem e simulação numéricas com o objetivo de identificar os melhores setores espaciais do escoamento que apresentasse o melhor potencial hidrocínético no reservatório de jusante da UHE de Tucuruí. Com este foco, estas informações são relevantes para diagnosticar os potenciais hidrocínéticos a partir da energia hídrica residual vertida e turbinada pela UHE.

2. ÁREA DE ESTUDO E DIGITALIZAÇÃO DO DOMÍNIO

A área de estudo foi o trecho do rio Tocantins logo a jusante do Reservatório da UHE Tucuruí no município de Tucuruí, estado do Pará, segundo as coordenadas do mapa da Fig. 1. A Usina Hidrolétrica de Tucuruí está localizada na bacia hidrográfica do Tocantins – Araguaia totalmente inserida no território brasileiro. Segundo Mérona *et al.* (2010) A Bacia do Tocantins possui uma área com cerca de 921 mil km² (11% do território nacional) e abrange os estados do Pará (30% da região hidrográfica), Tocantins (30 %), Goiás (21,3 %), Mato Grosso (15 %), Maranhão (3%) e Distrito Federal (0,1%).

Segundo Santos (2011), a bacia do Tocantins apresenta significativas variações de vazões, cujos valores estão compreendidos entre 2.000 m³/s a 36.000 m³/s, dependendo do período sazonal. Trata-se da segunda maior bacia hidrográfica do país com potencial hidroenergético instalado de 11.573 MW (16% do país), representando quase 50% do potencial hidrelétrico da região, da ordem de 23.825 MW, segundo o relatório da ANA (2006).

De acordo com ANA (2006) o clima da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia é tropical, com temperatura média anual de 26 °C, e dois períodos climáticos bem definidos: o chuvoso, de outubro a abril, com aproximadamente 90% da precipitação, e o seco, de maio a setembro, com baixa umidade relativa do ar.

Foram utilizados dados batimétricos e de vazão obtidos em campanhas de campo ao longo das estações sazonais chuvosa, seca e transição para seca, correspondentes aos meses de dezembro, julho e setembro, respectivamente. Para a batimetria e quantificação da vazão ou descarga líquida foi utilizado o equipamento adequado aos propósitos da pesquisa para uso em grandes rios, o ADCP de 600 Hz. O ADCP é um equipamento composto por uma sonda, com quatro transdutores e um “deck box”, onde os sinais são filtrados e transmitidos para um computador com um software específico que coordena as ações de todo o sistema, recebe os dados e os disponibiliza em forma de gráficos e tabelas.

Com os dados batimétricos foram criadas seções transversais do rio que correspondessem aos perfis de interesse de estudo hidrocínético realizado a partir das descargas líquidas medidas pela ADCP (correntometria). Na Figura (1) são mostradas as duas seções de interesse (seção da ilha e seção da ilha 2), onde foram realizadas as medições, estas serão utilizadas para comparação com os resultados das simulações numéricas.

As medições de campo utilizadas neste trabalho são resultados dos esforços de campanhas de campo envolvidas no estudo do potencial hidrocínético para aproveitamento de vazão vertida pela UHE-Tucuruí, realizados por Cunha and Portela (2013). Tais medições, correspondem aos anos de 2012 e 2013 e fazem parte do projeto de P&D Aproveitamento de Energia Hidrocínética em Águas Vertidas e Turbinadas, financiado pela Eletronorte e que envolveu diversas universidades brasileiras dentre elas a Universidade de Brasília, Universidade Federal do Amapá e Federal do Pará.

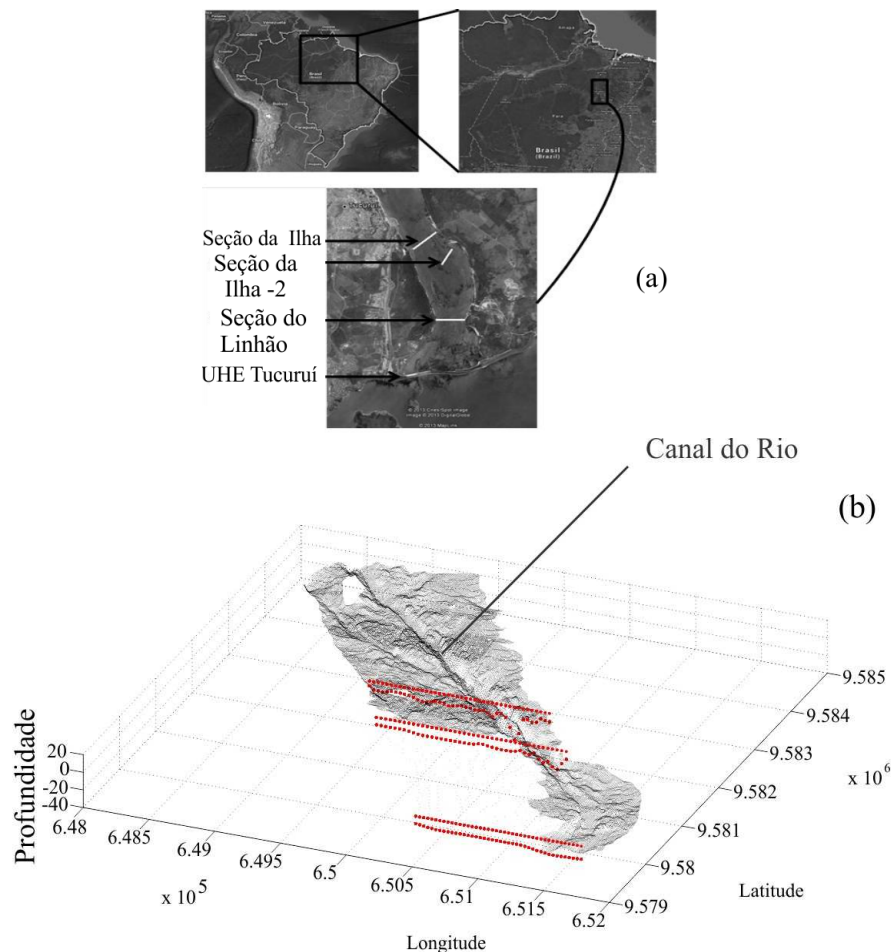


Figura 1: (a) região à jusante da UHE-Tucuruí e seções de medições de vazão: seção da ilha, seção da ilha 2 e seção do linhão por onde passa toda a vazão mássica vertida e turbinada do rio; (b) dados batimétricos com três seções transversais do rio em vermelho.

2.1 Malha Computacional

Com os perfis obtidos no estudo batimétrico, foi criada a geometria 3D e assim a malha necessária para criação do domínio computacional da simulação, como observado na Fig (2). As características da malha computacional foram: 266.550 nós e 755.074 elementos tetraédricos não estruturados. Foi utilizado o software Ansys-meshing 16.2 para geração da malha 3D.

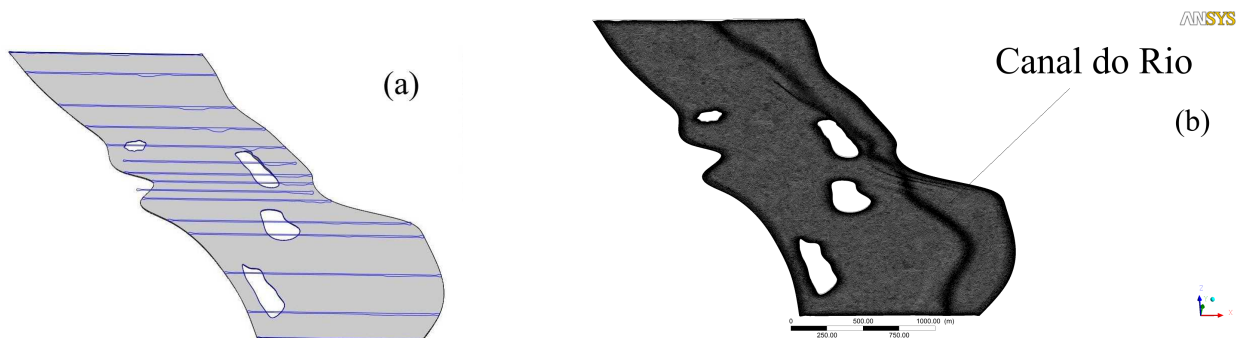


Figura 2: (a) geometria 3D e (b) malha computacional. Nota-se um refinamento na malha que segue os pontos mais profundos do rio.

3. MODELAGEM HIDRODINÂMICA

A metodologia da modelagem hidrodinâmica consiste na seguinte sequência: a) pré-processamento, b) processamento e c) pós-processamento, como observado na Fig. (2). Para as simulações foi utilizado o pacote de mecânica dos fluidos computacional Ansys CFX 16.2, o qual foram adotadas todas as condições de contorno necessárias para compor o modelo

de turbulência SST (Shear Stress Transport).

A fase de pré-processamento foi responsável pela criação do domínio de estudo a partir da malha computacional e pela determinação das condições de contorno e iniciais do problema, ou seja, condições de entrada, saída do escoamento, superfície da parede e superfície livre. Nas condições de entrada de fluido foram utilizadas as vazões mássicas medidas com ADCP referente a cada período estudo, período seco, chuvoso e transição de seco para chuvoso, meses de setembro, dezembro e julho respectivamente. Na etapa do processamento ou solução, foram resolvidas as equações de Navier-Stokes discretizadas através do método de volumes finitos, permitindo o acompanhamento do processo de convergência numérica do problema. Na fase final, o pós-processamento forneceu as saídas gráficas do escoamento (campo de velocidades e outras variáveis como os campos de outras propriedades hidrodinâmicas, coeficientes, etc).

3.1 Modelo de turbulência

O modelo turbulento escolhido foi o chamado SST (Shear Stress Transport). A razão dessa escolha deve-se a resultados satisfatórios obtidos por vários estudos (Cunha *et al.*, 2006, Cunha *et al.*, 2007, Cunha *et al.*, 2012, Cunha *et al.*, 2013; Pinheiro *et al.*, 2008; Pinheiro and Cunha, 2010) na solução do escoamento complexo e dispersão de poluentes no estuário do rio Matapi, rio Amazonas e rio Araguaí no Estado do Amapá. O modelo SST surge da necessidade do melhoramento de dois modelos $k - \varepsilon$ e $k - \omega$. O modelo $k - \varepsilon$ é um modelo robusto no estudo de escoamentos complexos, mas é pouco elucidativo nos fenômenos que ocorrem na camada limite da superfície de escoamento. Nesse ponto, o modelo $k - \omega$ é mais eficiente, porém a equação ω é muito sensível para descrição de escoamentos livres, o que torna inviável a substituição de um modelo pelo outro. Para que a lógica do modelo SST funcione, o modelo de ω é multiplicado por uma função de mistura e adicionado ao modelo de ε também multiplicado por essa função de mistura. Então, impõe-se que a função tenha valor unitário na região logarítmica e gradativamente torne-se nula fora da mesma. Outra razão é que o modelo prediz o transporte de tensão de cisalhamento, fator de grande relevância para descrição do escoamento.

A Equação (1) fornece o transporte para a energia cinética turbulenta k .

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \bar{u}_i \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \beta^* \rho k \omega \quad (1)$$

onde P_k é um termo de produção determinado pela Eq. (2).

$$p_k = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \Rightarrow P_k = \min(p_k, 10\beta^* \rho k \omega) \quad (2)$$

A equação de transporte para ω é dada pela Eq. (3)

$$\rho \frac{\partial \omega}{\partial t} + \rho \bar{u}_i \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_t \sigma_\omega) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \alpha \rho \alpha S^2 - \beta \rho \omega^2 + 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega_2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \frac{\partial k}{\partial x_i} \quad (3)$$

onde $S = (S_{ij} S_{ij})^{1/2}$ é uma medida invariante do tensor taxa de deformação e F_1 é a função de mistura dada pela Eq. (4)

$$F_1 = \tanh \left\{ \left\{ \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{B^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\rho \sigma_{\omega_2} k}{CD_{k\omega} y^2} \right] \right\}^4 \right\} \quad (4)$$

com $CD_{k\omega} = \max \left(2\rho \sigma_{\omega_2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \frac{\partial k}{\partial x_i}, 10^{-10} \right)$ e y é a distância da superfície de não deslizamento.

3.2 Especificações do Modelo SST

Com uma especificação do modelo SST, a viscosidade turbulenta é calculada de acordo com Eq. (5).

$$\mu_t = \rho \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)} \quad (5)$$

onde F_2 é uma função de mistura do modelo, dada pela Eq. (6).

$$F_2 = \tanh \left\{ \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{B^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right) \right]^2 \right\} \quad (6)$$

Dessa forma os coeficientes do modelo híbrido são uma combinação linear dos coeficientes dos dois modelos de acordo com a Eq. (7).

$$\Phi = F_1 \Phi_1 + (1 - F_1) \Phi_2 \quad (7)$$

$$\rho \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\tau}_{ij} + \tau_{ij}^{LES}) \quad (8)$$

Os valores dos coeficientes são determinadas como: $\beta^* = 0,09$, $\alpha_1 = 5/9$, $\beta_1 = 3/40$, $\sigma_{k_1} = 0,85$, $\sigma_{\omega_1} = 0,5$, $\alpha_2 = 0,44$, $\beta_2 = 0,0828$, $\sigma_{k_2} = 1$ e $\sigma_{\omega_2} = 0,856$. Mais detalhes do modelo SST podem ser vistos nos trabalhos de Menter (1993) e Menter (1994).

4. Resultados

Nesta seção serão apresentados os resultados de setembro, dezembro de 2012 e julho de 2013, os quais ocorreram campanhas de campo em que foram medidos perfis de velocidade em seções estratégicas do rio Tocantins, velocidades médias no perfil e valores de vazão mássica de água, como mostrado pela Fig. (1). Junto com as medições, são apresentados os resultados da simulação numérica, nos quais são indicadas as seções de interesse para efeito de comparação. Em cada figura as informações sobre data, local de medição e parâmetros hidráulicos são indicadas.

As Figuras (3a e 3b) mostram resultados de duas medições seguidas correspondente ao mês de setembro de 2012 (período seco) para seção da ilha 1 e seção da ilha 2, respectivamente. Na Figura (3c) pode ser visto o resultado da simulação numérica. Nota-se que os valores médios de velocidade é 0,9 m/s e os núcleos de velocidades estão nas regiões mais profundas do rio para as duas seções. Na seção da Ilha, a velocidade do escoamento atinge valores locais maiores que na seção da ilha 2 na região do canal (1~1,5 m/s) nas duas travessias. Com relação aos resultados da simulação, observa-se que as velocidades máximas estão em torno de 1 m/s e que os núcleos de maior velocidade estão nas regiões do canal do rio. Nestas regiões, o valor atingido correspondente a seção da ilha variou de 0,8 ~ 0,9 m/s e na seção da ilha 2 varia 0,9 ~ 1 m/s.

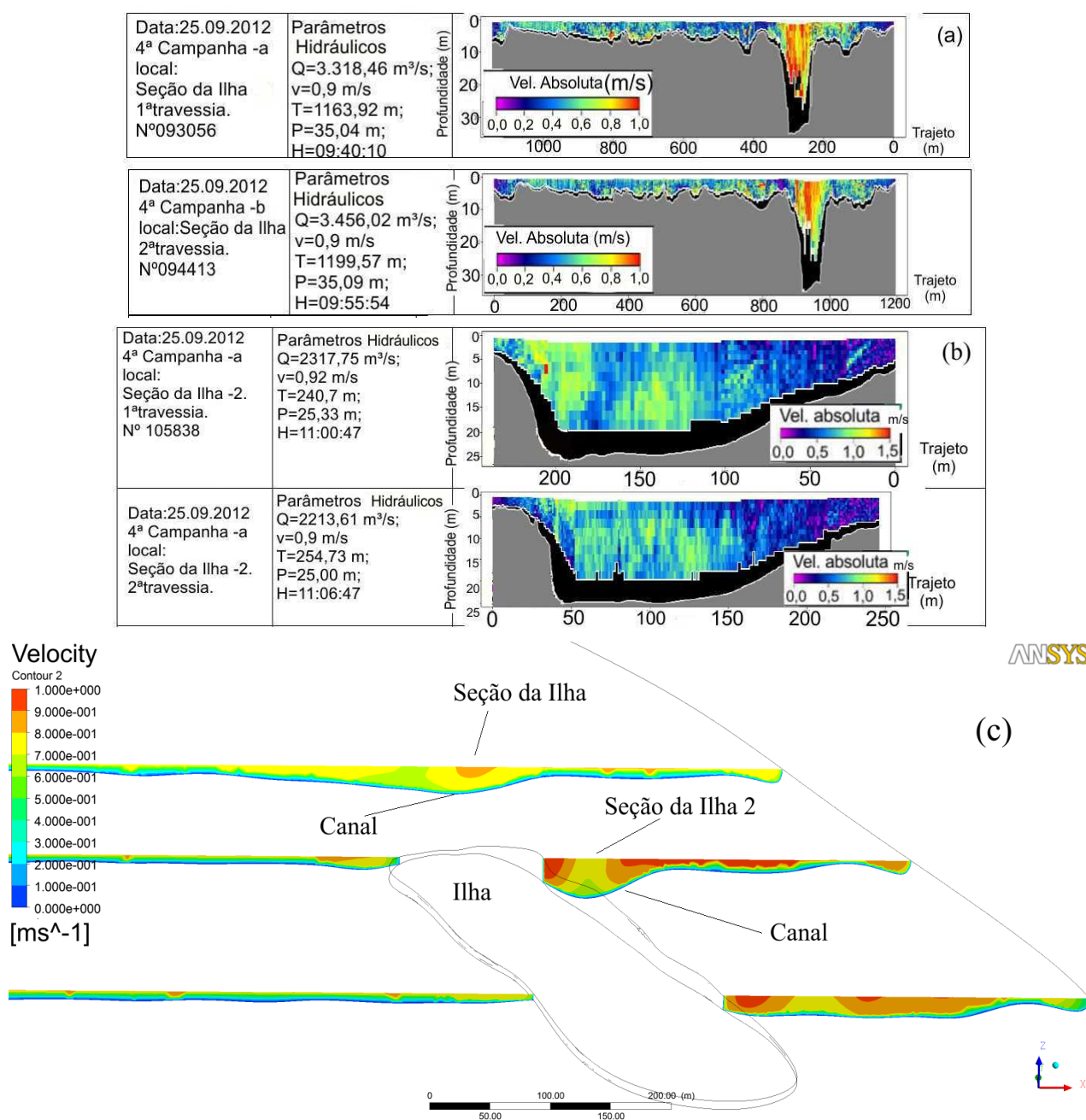


Figura 3: Resultados referentes: (a) medições de vazão por meio de duas travessias na seção ilha e (b) ilha -2 realizadas pela ADCP referentes ao mês de setembro de 2012. (c) seções dos resultados das simulação numérica, na figura são indicadas cada seção correspondente a cada medição.

Os resultados referentes ao mês de dezembro correspondem ao período chuvoso e podem ser vistos na Fig. (4). Neste caso, nota-se um aumento da vazão do rio, o que é esperado nesse período devido o acumulo de águas pluviais a montante do rio. Com o aumento da vazão, a velocidade média aumentou atingindo o valor de 1,6 m/s seção da ilha e 1,2 m/s seção da ilha 2, Fig. (4a e 4b) respectivamente. Os resultados de velocidade na simulação numérica na seção da Ilha variam entre 1,4~1,92 m/s na região do canal do rio. Na seção da ilha 2 as velocidades máximas foram de 2,4 m/s em regiões mais rasas próximas ao canal e próxima a margem da ilha. A variação na região do canal foi 1,4 ~ 2,4 m/s, mostrados na Fig. (4c).

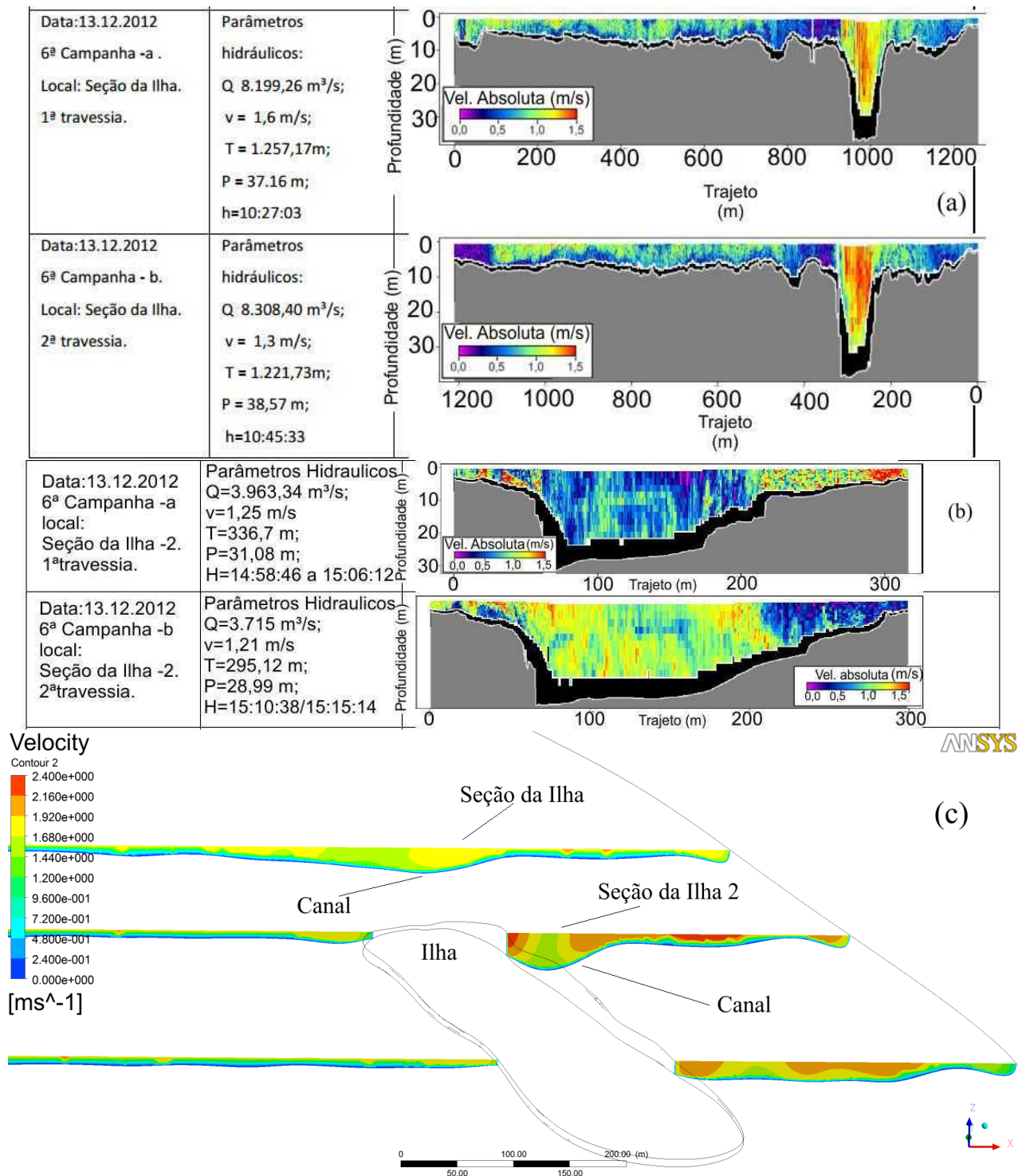


Figura 4: Resultados das (a) medições de vazão na seção ilha, (b) ilha-2 referentes ao mês de dezembro e (c) seções dos resultados da simulação numérica. .

Para o mês de julho foi observado uma queda na vazão do rio ocasionada pela transição para o período seco amazônico, caracterizado pela redução dos índices pluviométricos. Neste caso, as velocidades médias medidas estão entorno de 0,9 m/s nas duas seções de interesse, Fig. (5a e 5b). Na Primeira travessia da seção da ilha-2 houve um erro na geração dos resultados pois observa-se que são mostrados valores nulos de velocidade e outros muitos baixos na maior parte da

área medida, Fig (5b). Na segunda travessia, observou-se o predomínio de velocidades locais de 1 m/s. Os resultados da simulação numérica podem ser vistos na Fig. (5c). Neste caso, nota-se que a velocidade média no canal do rio na seção da ilha varia entre 0,6 ~ 0,7 m/s e na seção da ilha-2 de 0,7 ~ 0,9 m/s.

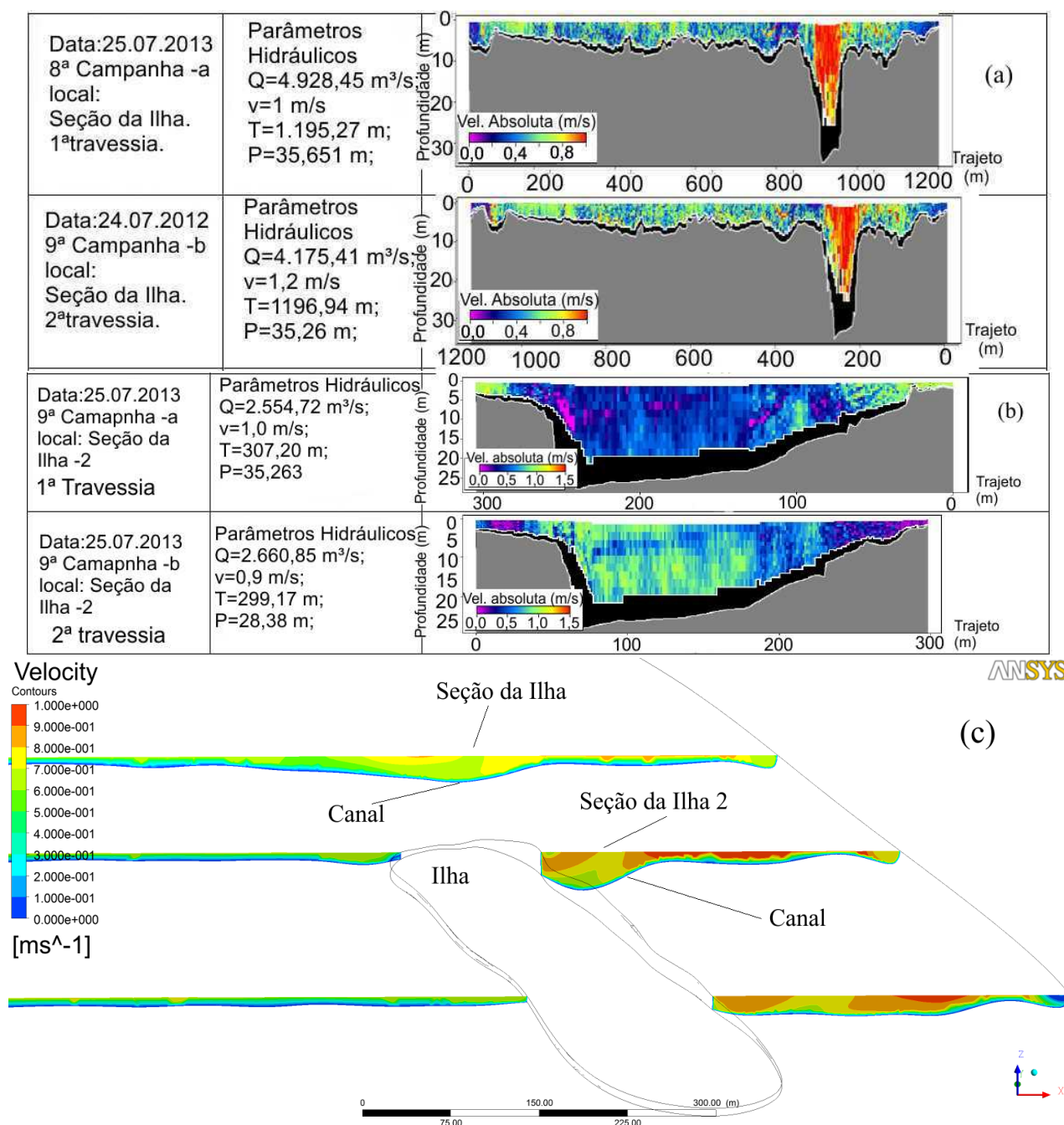


Figura 5: Resultados das medições de vazão na (a) seção ilha e (b) ilha-2 para o mês de transição julho e seções dos resultados das simulação numérica (c).

5. CONCLUSÕES

O estudo apresentou relevância na abordagem do desenvolvimento de uma geometria 3D de um trecho de interesse do rio Tocantins para avaliar a influência da configuração do leito no escoamento do corpo de água. Este resultado mostra a importância da ferramenta utilizada para o estudo e levantamento do potencial hidrocínético em canais a jusante de hidrelétricas, para o aproveitamento da energia residual. Dentre as hipóteses levantadas, este trabalho apresentou as seguintes contribuições:

- 1 Os resultados apresentados pelas medições de vazão demonstram que as zonas pré-determinadas das seções de estudo realmente possuem potencial hidrocínético. Estes valores alcançam até 1,6 m/s no mês de dezembro (final da estação seca e início do chuvoso) nas duas seções de interesse, e 2,4 m/s na seção ilha 2. Estes valores, portanto, são

próximos dos relatados por Ponta (2008). Além disso, os resultados das simulações concordaram de forma qualitativa, indicando resultados quantitativos razoáveis quando comparados com as medições experimentais (ADCP), ao calcular os perfis de velocidade no trecho do rio Tocantins. Entretanto, ainda é necessário estudos mais detalhados sobre as características do escoamento turbulento, principalmente o desenvolvimento de uma malha computacional mais refinada, de modo a alcançar resultados quantitativos mais significativos.

- 2 Os resultados da simulação também mostram que a seção da ilha 2 corresponde com o que Cunha and Portela (2013) relataram sobre o potencial hidrocínético da seção ilha 2. Segundo os autores, os parâmetros de velocidade e profundidade demonstram que realmente há potencial de geração de energia hidrocínética no local. Além disso, esta seção está localizada entre duas ilhas, onde provavelmente há o melhor potencial para instalação do equipamento e de fixação de apoio (largura de 254.73m) da turbina, facilitando a realização de manutenções futuras.
- 3 Os resultados da simulação observados nas outras seções mostram possíveis zonas com potencial hidrocínético em que não foram realizadas medidas com ADCP. Por outro lado, percebe-se que as simulações tendem a subestimar os valores de velocidade experimentais do canal quando ambos são comparados. Dessa forma, outras regiões hidraulicamente semelhantes, onde a profundidade e velocidade da correnteza possuam potencial hidrocínético observadas em simulações, também podem ser avaliadas como possíveis zonas de interesse para de quantificações hidrocínéticas futuras.
- 4 Cientes das dificuldades logísticas durante campanhas de campo, a simulação numérica torna-se virtualmente mais interessantes no que diz respeito a visualização de campos de velocidade em diversas regiões de canais, pois seria possível analisar as diversas seções do rio simultaneamente.
- 5 O modelo SST mostrou-se robusto e interessante porque gerou os perfis de velocidade e as características essenciais da hidrodinâmica do escoamento. Esse comportamento era o esperado para configuração 3D do leito do canal. Deste modo, o escoamento adequou-se satisfatoriamente às condições de irregularidades da geometria, demonstrando que a ferramenta computacional CFX-16.2 é aplicável a este tipo de estudo e principalmente para estimar o potencial hidrocínético em canais naturais não estudados, como ocorre na bacia amazônica. Trabalhos futuros podem utilizar a geometria desenvolvida nesta investigação com o objetivo de gerar novos perfis de velocidade na região de entrada (seção linha da Fig. (1)) ou interpoladas por meio de pré-processamento, utilizando-se o Ansys-CFX. Com isso resultados mais realísticos são esperados.

Além do estudo do potencial hidrocínético, o desenvolvimento da metodologia neste trabalho empregada possibilita elaborar diferentes cenários da vazão mássica em que poderão ser avaliadas a influência da irregularidade do canal na dispersão de poluentes neste trecho crítico do rio Tocantins, haja vista a proximidade da barragem em relação à cidade Vila de Tucuruí, a qual já vem apresentando problemas sanitários, por exemplo. Finalmente, a partir deste estudo, é possível elaborar cenários hidrodinâmicos para também subsidiar agências reguladoras e instituições de pesquisa envolvidas com gerenciamento de recursos hídricos e tomada de decisão. Uma das melhores aplicações seriam em estudos de prevenção e mitigação de impactos ambientais sobre toda a região coberta pelo trecho do rio.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Eletronorte (P&D Projeto Tucunaré), CNPQ, CAPES, e aos técnicos e bolsistas da LEA/UnB, UNIFAP e UFPA.

7. REFERÊNCIAS

- ANA, 2006. Plano nacional de recursos hídricos: síntese executiva. meio Ótico – pnrh. ministério do meio ambiente e secretaria de recursos hídricos, Agência Nacional de Águas, Brasília, Brasil.
- Boyle, G., 2004. *Renewable energy: power for sustainable future*. Open University, Oxford, UK.
- Brasil Jr, A.C., Salomon, L.R.B. and Els, R.A.V., 2006. “A new conception of the hydrokinetic turbine for isolated communities in amazon”. In *Anais do IV CONEM. 22 a 25 de agosto*. ABCM, Recife, Brazil.
- Cunha, A.C., Brito, D.C., Pinheiro, L.A.R. and Brasil jr, A.C.P., 2010. “Uso de simulação hidrodinâmica na análise de potencial hidrocínético: o caso do rio matapi no baixo rio Amazonas amapá”. In *Revista Brasileira de Energia Solar*. Recife, Brazil, Vol. 1, pp. 139–148.
- Cunha, A.C., Cunha, H.F.A. and Pinheiro, L.A.R., 2013. “Modelagem e simulação do escoamento e dispersão sazonais de agentes passivos no rio araguari ap: Cenários para o ahe ferreira gomes-i-amapá/brasil”. *RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, , No. 18, pp. 67–85.
- Cunha, A.C. and Portela, G., 2013. Potencial hidrocínético para aproveitamento de vazão residual da uhe de tucuruí, Eletrobras/Eletronorte, Brasília, Brasil. Relatório parcial projeto P & D Tucunaré(Aproveitamento de Energia Hidrocínética em Águas Vertidas e Turbinadas).
- Cunha et al, 2012. *Challenges and Solutions for Hydrodynamic and Water Quality in Rivers in the Amazon Basin*. In: Schulz, H. E; Simões, A. L. A; Lobosco, R. J. (Org.). *Hydrodynamics - Natural Water Bodies*. Intech, Rijeka, Croatia. P. 67-88.

- Cunha *et al.*, A.C., 2006. “Estudo numérico do escoamento superficial na foz do rio matapi – costa interna estuarina do amapá”. In *Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering - ENCIT*. ABCM, Curitiba, Brazil.
- Cunha *et al.*, A.C., 2007. “Estudo experimental e numérico da dispersão de poluentes sob efeito de marés na foz do rio matapi – distrito industrial de santana – ap”. In *VIII Ecolab*. ABCM, Amapá, Brazil, pp. 40–44.
- Els, R.V., 2008. *Sustentabilidade de projetos de implantação de aproveitamentos hidroenergéticos em comunidades tradicionais na Amazônia: casos do Suriname e Amapá*. Ph.D. thesis, UnB.
- Menter, F.R., 1993. “Zonal two equation $k-\omega$ turbulence models for aerodynamic flows”. *AIAA Paper*, pp. 93–290.
- Menter, F.R., 1994. “Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications”. *AIAA Paper*, Vol. 32, No. 8, pp. 1598–1605.
- Mérona, B., Juras, A.A., Santos, G.M. and CINTRA, I.H.A., 2010. *Os Peixes e a Pesca no Baixo Tocantins: Vinte anos depois da UHE de Tucuruí*.
- Pinheiro, L.A.R. and Cunha, A.C., 2010. Relatório de pesquisa, Instituto de Pesquisa do Estado do Amapá, Macapá-AP, Brasil.
- Pinheiro *et al.*, L.A.R., 2008. “Aplicação de simulação computacional à dispersão de poluentes no baixo rio amazonas: potenciais riscos à captação de água na orla de macapá-amapá”. *Revista Banco da Amazônia*, , No. 4, pp. 7–24.
- Ponta, F.L. and Jacoviski, P.M., 2008. “Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines”. *Renewable Energy* 33, , No. 33, pp. 665–673.
- Rodrigues, A.P.S.P., 2007. *Parametrização e simulação numérica em turbina hidrocínética – otimização via algoritmos genéticos*. Master’s thesis, UnB.
- Santos, P.V.C.J., 2011. *Potencial de vazão ambiental como subsídio à outorga de recursos hídricos para construção e operação de hidrelétricas na Amazônia*. Master’s thesis, Universidade Federal do Amapá, Amapá, Brasil. Dissertação (Mestrado em Direito em Ambiental e Políticas Públicas).

8. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores autorizam a publicação dos trabalhos em favor da ABCM, assumindo toda a responsabilidade sobre o conteúdo dos mesmos, no momento da inscrição formal do trabalho, acompanhado da taxa de publicação.

Potencial Hydrokinetic Estimate of the Residual and Shed Hydropower of Tucuruí’s Dam: An Experimental and Numerical 3D Approach.

Luis Aramis dos Reis Pinheiro, aramisrp@gmail.com¹

Alan Cavalcanti da Cunha, alancunha@unifap.br²

Antonio Cesar Pinho Brasil, brasiljr@unb.br¹

¹Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900. Brasília, Distrito Federal, Brasil

²Universidade Federal do Amapá, Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 02, Jardim Marco Zero, 68.903-419 Macapá, Amapá, Brasil

Resumo: In search of energy solutions to the socio-economic and environmental development in the Amazon, decentralized electrical micro are an alternative to network extension, and renewable and less polluting. In this sense, he developed an interest in the exploitation of potential hydrokinetic low drop and energy available in water currents in seas, lakes and rivers. Thus, evaluation of the hydrokinetic potential of a river is essential and can be accomplished by water flow measurements at the site of interest and / or by means of computer simulations of the hydrodynamic flow. In this work, we will develop a 3D model of the Tocantins River in the state of Pará, necessary to create the computational mesh and the modeling and numerical simulation at a point downstream of the spillway of the Tucuruí Dam Unit. The Ansys CFX CFD software was used for hydrodynamic simulation of the turbulent flow of the river. It used the turbulent model SST (Shear Stress Transport) to the study of the river flow. The simulation results were compared with flow measurement data, which was observed to agree with those measured in situ. Simulations were performed for three periods: dry, transition and rainy. It was noted that the highest speed peaks occurred in the deeper parts of the river. These results help in making decision on the realization of the hydrodynamic design of a hydrokinetic turbine to be deployed in the region. The quality of geometry was satisfactory in the sense of representing the river bottom irregularity. The speeds in the deeper regions had little change, such areas have depths of 15 m to 25 m. The predicted characteristics provided speeds of the order that greatly facilitates the installation of hydrokinetic machines. In future work, with the velocity profiles obtained with measurements of profiling, interpolate them will be possible and impose them on the border. With these imposed conditions may be carried out numerical tests in the regions having the best potential observed and thus evaluate the influence of the river bed in the turbine under study.

Palavras-chave: Turbulence, CFX, Tocantins River, Simulation, Hydrodynamics)